

**Е. П. Масленникова**

*Российская академия образования*

Москва, Россия

**Н. А. Чипеева**

**И. В. Фекличева**

*Южно-Уральский государственный университет*

Челябинск, Россия

**В. И. Исмагулина**

**И. М. Захаров**

**Т. В. Адамович**

*Психологический институт РАО*

Москва, Россия

### **Взаимосвязь функциональной связанности мозга в состоянии спокойного бодрствования с показателями вербального интеллекта\***

Исследование посвящено изучению взаимосвязи различных аспектов вербальных способностей и глобальных характеристик функциональной связанности мозга в состоянии спокойного бодрствования (характеристической длины пути и кластерного коэффициента). Вербальные способности оценены с помощью трех вербальных шкал Универсального интеллектуального теста: «Пропущенные слова», «Понятливость» и «Аналогии». Данные для оценки функциональной связанности мозга получены с помощью метода электроэнцефалографии, который позволяет регистрировать изменения нейрональной активности в миллисекундном разрешении. Характеристики функциональной связанности мозга рассчитаны на основе теории графов. Получены статистически значимые коэффициенты корреляции между некоторыми шкалами вербального интеллекта и кластерным коэффициентом.

*Ключевые слова:* ЭЭГ, функциональная связанность в состоянии покоя, метрики графа, вербальный интеллект

---

\* Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ, проект № 18-013-00944 «Нейрофизиологические механизмы индивидуальных различий интеллекта».

**Ekaterina P. Maslennikova**

*Russian Academy of Education*

Moscow, Russia

**Nadezda A. Chipeeva**

**Feklicheva Inna V. Chipeeva**

*South Ural State University*

Chelyabinsk, Russia

**Victoria I. Ismatullina**

**Ilya M. Zhakarov**

**Timofey V. Adamovich**

*Russian Academy of Education*

Moscow, Russia

## **Association between Eeg-Based Functional Connectivity at Rest and Verbal Intelligence**

This study is devoted to the investigation of the relationship between different aspects of verbal abilities and global characteristics of brain resting-state functional connectivity (the characteristic path length and the clustering coefficient). Verbal abilities were evaluated using three verbal scales of the Universal Intellectual Test: “Missing words”, “Comprehension” and “Analogies”. Data for the assessment of resting-state functional connectivity were obtained using the electroencephalography method, which allows recording changes of neuronal activity in millisecond resolution. The characteristics of the brain functional connectivity are calculated based on graph theory. Statistically significant correlation coefficients between some scales of verbal intelligence and the clustering coefficient are obtained.

*Keywords:* EEG, resting-state functional connectivity, graph metrics, verbal intelligence

*Введение.* Под функциональной связанностью понимается характеристика связи между анатомически различными, пространственно близкими или удаленными областями мозга, которые взаимодействуют через спонтанную или вызванную синхронизацию для достижения реализации сложной психической функции [1; 2]. Исследования показывают, что характеристики функциональной

связанности в покое стабильны, а также могут лежать в основе индивидуальных поведенческих и когнитивных различий. Данные фМРТ-исследования показали, что вербальные способности положительно взаимосвязаны с показателями глобальной эффективности, в то время как невербальные функции взаимосвязаны с локальными характеристиками функциональной связанности [3]. Однако в исследовании, в котором использовались данные *Human Connectome Project* (также на фМРТ-данных), не было выявлено какой-либо значимой связи между показателями функциональной связанности мозга в состоянии покоя (глобальной эффективностью, длиной пути и глобальным кластерным коэффициентом) и несколькими широко используемыми показателями интеллекта, в том числе и вербальными [4]. Несмотря на ряд работ, посвященных индивидуальным различиям в уровне интеллекта и характеристик нейронных сетей покоя, данные о характере этих взаимосвязей все еще остаются противоречивыми. Таким образом, задачей нашего исследования было изучение корреляционных взаимосвязей между вербальными шкалами Универсального интеллектуального теста и показателями функциональной связанности (кластерного коэффициента и характеристической длины пути) в различных частотных диапазонах.

**Материалы и методы.** В исследовании приняли участие 90 студентов Южно-Уральского государственного университета (из них 49 женщин) в возрасте от 17 до 39 лет ( $Me = 19$ ,  $M = 20,22$ ) без неврологических расстройств и психических заболеваний в анамнезе, а также без травм головы. Участники были ознакомлены с процедурой и подписали информационное письмо о согласии на участие в исследовании. Работа проводилась в два этапа.

На первом этапе производилась запись ЭЭГ в состоянии спокойного бодрствования. Запись ЭЭГ данных осуществлялась в течение 10 мин. (по 2 мин. попеременно с закрытыми и открытыми глазами) с помощью амплификатора *Brain Products ActiChamp-64* (*BrainProducts*, Мюнхен, Германия) в звукоизолированном помещении с приглушенным освещением. Импеданс поддерживался в диапазоне от 0 до 25 kOm. В качестве электрода сравнения был выбран электрод в точке Cz. Запись производилась с помощью программы *Rycoder*

(*Brain Products*) без использования фильтров при частоте дискретизации 1000 Гц. После записи частота дискретизации снижалась до 256 Гц, данные фильтровались в диапазоне частот от 0,1 до 30 Гц, глазодвигательные артефакты удалялись с помощью анализа независимых компонент (ICA) с использованием электродов VEOG — Fp1, НEOG — FT9 и FT10, далее производилось восстановление удаленных каналов с помощью метода топографической интерполяции и дальнейшее удаление артефактов.

На втором этапе измерялись вербальные когнитивные способности с помощью шкал Универсального интеллектуального теста [5]. Мы использовали следующие вербальные шкалы:

- «Пропущенные слова», отражающую способность к оперированию вербальным материалом, понимание содержания, скорость восприятия текста;

- «Понятливость», характеризующую объем практических знаний, умение строить умозаключения на основе жизненного опыта, логичность суждений, наблюдательность и здравый смысл;

- «Аналогии», отражающую такие интеллектуальные качества, как чувство языка, комбинаторно-логическое мышление, способность находить приблизительные решения.

Для анализа были взяты записи ЭЭГ данных с общим количеством удаленных артефактов менее 15 %. Анализ показателей функциональной связанности проводился отдельно для частотных диапазонов следующих ритмов: тета (4–8 Гц), альфа (8–13 Гц), бета-1 (13–20 Гц) и бета-2 (20–30 Гц). Реконструкция источников осуществлялась с помощью стандартного пакета *MNE Python*. Для оценки синхронизации нами был использован метод *Weighted Phase Lag Index*.

**Результаты.** Статистически значимые положительные коэффициенты корреляции были обнаружены в трех частотных диапазонах. В бета-1 диапазоне — между кластерным коэффициентом и шкалой «Пропущенные слова» ( $r = 0,278$ ,  $p < 0,01$ ), между кластерным коэффициентом и шкалой «Понятливость» ( $r = 0,278$ ,  $p < 0,05$ ). В бета-2 диапазоне — между кластерным коэффициентом и шкалой «Пропущенные слова» ( $r = 0,301$ ,  $p < 0,005$ ), между кластерным коэффициентом и шкалой «Понятливость» ( $r = 0,340$ ,  $p < 0,01$ ).

В тета-диапазоне — между кластерным коэффициентом и шкалой «Пропущенные слова» ( $r = 0,219$ ,  $p < 0,038$ ).

Расчет метрик графа производился с помощью пакета R. Для оценки степени взаимосвязи между показателями функциональной связанности с вербальными шкалами использовался коэффициент корреляции Пирсона, расчет данных также производился в среде статистического программирования R.

*Заключение.* Полученные результаты воспроизводят данные предыдущих исследований о существовании взаимосвязи между показателями функциональной связанности и вербальными способностями, которые измеряют интеллектуальные тесты. Несмотря на то, что получены статистически значимые корреляционные взаимосвязи между метриками графа и вербальными шкалами интеллекта, эти данные необходимо проверить на большем количестве респондентов. В исследовании показано, что при проведении подобных исследований важно учитывать не только итоговые показатели тестов интеллекта, но и использовать шкалы, специализированно оценивающие разные аспекты вербальных способностей.

---

1. Finn E. S. et al. Functional connectome fingerprinting: identifying individuals using patterns of brain connectivity // *Nature Neuroscience*. 2015. Т. 18. № 11. Р. 1664–1671.

2. Sporns O. *Networks of the Brain*. MIT Press, 2010.

3. Pamplona G. S. P. et al. Analyzing the association between functional connectivity of the brain and intellectual performance // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2015. Т. 9. Р. 61.

4. Kruschwitz J. D. et al. General, crystallized and fluid intelligence are not associated with functional global network efficiency: A replication study with the human connectome project 1200 data set // *Neuroimage*. 2018. Т. 171. Р. 323–331.

5. Байтерякова Е. Ю., Батулин Н. А., Курганский Н. А. Диагностический комплекс для исследования уровня и структуры интеллекта как основа образовательного мониторинга // *Журнал практического психолога*. 1996. № 4. С. 16–27.